

## 北山放牧地における水および土壌のミネラル濃度

著者	水野 速人, 吉原 佑, 佐藤 衆介, 木村 和彦, 田中 繁史, 小倉 振一郎
雑誌名	複合生態フィールド教育研究センター報告
巻	28
ページ	7-11
発行年	2013-03
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00121505">http://hdl.handle.net/10097/00121505</a>

## 北山放牧地における水および土壌のミネラル濃度

水野 速人<sup>1</sup>・吉原 佑<sup>1</sup>・佐藤 衆介<sup>1</sup>・木村 和彦<sup>2</sup>・田中 繁史<sup>3</sup>・小倉 振一郎<sup>1</sup>

Mineral concentrations of water and soil in Kitayama grazing area

Hayato MIZUNO<sup>1</sup>, Yu YOSHIHARA<sup>1</sup>, Shusuke SATO<sup>1</sup>, Kazuhiko KIMURA<sup>2</sup>, Shigefumi TANAKA<sup>3</sup>  
and Shin-ichiro OGURA<sup>1</sup>

キーワード：植物，土壌，放牧地，水，ミネラル

### 緒 言

草食家畜を健全に飼養し，家畜生産を行う上で，家畜の養分摂取を把握することは重要である（Grings et al., 1996）。中でもミネラルは，他の栄養素と比較して要求量が少ないものの，欠乏すると生産性に大きな影響を及ぼし，逆に，過剰摂取は中毒症を発生する場合がある（扇元ら，2006；農業・食品産業技術総合研究機構，2006; 2008）。例えば，乳牛の分娩前後にカルシウム（Ca）不足が生じると乳熱が発生する（Littledike and Goff, 1987）。また，新生子牛でセレン（Se）が不足すると白筋症の発症リスクが高まる（佐々木，1998）。

放牧下では，舍飼下にくらべ家畜の養分摂取の制御が困難である。植物中ミネラル含量は植物種間で大きく異なるため（農業・食品産業技術総合研究機構，2009；水野ら，2012），家畜のミネラル摂取と利用は放牧地の植物に大きな影響を受ける（Ohlson and Staaland, 2001）。すでに筆者らは，植物多様性の異なる放牧地に肉用牛を定置放牧し，多様性の高い牧区ではウシ血中ミネラル濃度およびバランスが良好に保たれることを示した（水野ら，2011；2012；Mizuno et al., 2012）。植物のミネラル含量は土壌中ミネラル含量に大きな影響を受けるため（山根ら，1989），放牧地土壌のミネラルを知ることは重要である。また，放牧家畜は植物だけではなく，水（Weir, 1972）や土壌（Klein and Thing, 1989；Weir, 1972；北原，2005）も摂取すると考えら

れるため，これらのミネラル組成も同時に知る必要がある。

そこで本研究では，既報（水野ら，2011）で供試した植生の異なる3つの放牧草地の飲水および土壌のミネラル濃度について検討した。

### 材料と方法

#### 放牧地

調査は東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター複合陸域システム部（宮城県大崎市鳴子温泉）北山地区（北緯 38°46'32.8"，東経 140°44'32.3"）の六角牧区，大尺牧区，および梨の木平牧区の3つの牧区で行われた。六角牧区では，人工草地（3.2 ha）を試験用放牧地として用い，林地を含めなかった。一方，大尺牧区は人工草地（3.1 ha）と林地（16.9 ha）を，梨の木平牧区は改良野草地（1.6 ha）と林地（59.4 ha）を，あわせて1つの牧区として用いた。本調査を実施した2010年には，日本短角種成牛（放牧開始時：2.2 ± 0.5 歳，367 ± 102 kg）が，六角牧区および大尺牧区に各8頭，梨の木平牧区に6頭放牧された。飲水場として，六角牧区および大尺牧区では水槽を設け，同じ井戸から水をポンプで汲み上げて利用した。梨の木平牧区では牧区内を流れる沢を水場として利用した。施肥として，六角牧区，大尺牧区および梨の木平牧区の草地部にLP100 および苦土入り燐加安 16 号が散布された（表 1）。

表 1. 放牧地の年間施肥量および 10 a 当たりの施肥成分量

牧区	年間施肥量 (kg)		施肥成分量 (kg/10 a)		
	LP100	苦土入り 燐加安 16 号	N	P	K
六角	530	260	2.1	0.5	0.5
大尺	70	40	1.0	0.3	0.3
梨の木平	140	80	0.4	0.1	0.1

<sup>1</sup> 東北大学大学院農学研究科陸圏生態学分野

<sup>2</sup> 宮城大学食産業学部ファームビジネス学科

<sup>3</sup> 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター

### 水のミネラル分析

水の採取は 2010 年 7 月 23 日, 8 月 6 日, 8 月 20 日, 9 月 2 日, 9 月 15 日, 10 月 4 日および 10 月 14 日に行われた。採取日の天候はすべて, 晴れまたは曇りであった。採取にはプラスチック製広口瓶 (100 ml, 商品名アイボーイ) を 5 % 硝酸に 12 時間浸漬し, 蒸留水で洗浄したものを使用した。各牧区の飲水場から 300 ml の水を採取し, GLASS MICROFIBRE FILTERS (Whatman®) でろ過後, 200 ml に濃硝酸を 2 % 添加し, 残り 100 ml は無添加のまま, 広口瓶に入れて分析時まで 4 °C で保存した。分析項目として, ナトリウム (Na), マグネシウム (Mg), 硫酸 (SO<sub>4</sub>), 塩素 (Cl), カリウム (K), カルシウム (Ca), マンガン (Mn), 鉄 (Fe), コバルト (Co), 銅 (Cu) および亜鉛 (Zn) 濃度を測定した。Na, Mg, K および Ca 濃度は原子吸光光度法, Mn, Fe, Co, Cu および Zn 濃度は ICP-MS, Cl および SO<sub>4</sub> 濃度はイオンクロマトグラフィーを用いてそれぞれ分析した。原子吸光光度法は, 濃硝酸添加サンプルに干渉抑制剤としてストロンチウム (Sr) を添加し, 原子吸光光度計 (AA-280FS, Varian Japan®) で測定した。ICP-MS は濃硝酸添加サンプルに内部標準としてインジウム (In) を添加し, ELAN-DRC, PerkinElmer® で測定した。イオンクロマトグラフィーには無添加サンプルを用い, イオンクロマトグラフィー装置 (IC-20, DIONEX®) と陰イオン分離カラム (SI-90 E, SHODEX) を使用して行った。なお, 溶離液は 1.8 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/1.7 mM NaHCO<sub>3</sub> とした。

### 土壌中のミネラル分析

土壌の採取は 2010 年 7 月 23 日および 10 月 26 日に行われた。採取日の天候はいずれも晴れまたは曇りであった。大尺牧区および梨の木平牧区では草地部で 4 ヶ所および林地部で 4 ヶ所の計 8 ヶ所, 六角牧区では林地が存在しないため草地部のみ 4 ヶ所で採取した。表層のリターを除去し, 縦 10 cm × 横 5 cm × 深さ 5 cm の土壌を 2 サンプル採取し, 風乾後, 以下の分析に供した。分析項目として, Cu, Zn, Mn, 有効態 P, 交換性 K, 交換性 Mg, 交換性 Ca, Fe, Se, Co, Na, Cl, SO<sub>4</sub> 濃度および pH を測定した。土壌の Cu, Zn, Mn, 有効態 P, 交換性 K, 交換性 Mg, 交換性 Ca 濃度および pH は十勝農業協同組合連合会農産化学研究所に分析を依頼した。Na, Co, Fe および Se 濃度は 2 % 硝酸溶液で抽出し ICP-MS を用いて分析した。Cl および SO<sub>4</sub> 濃度は蒸留水で抽出した後, イオンクロマトグラフィーを用いて分析した。ICP-MS およびイオンクロマトグラフィーの分析条件は水分分析と同様であった。

### 結 果

飲水中のミネラル濃度は, いずれの成分においてもきわめて低かった (表 2)。Na, Mg, K および Ca は, 7 月 23 日 -9 月 2 日の値にくらべ, 9 月 15 日にすべての牧区で濃

度の低下が認められた。六角牧区では他の牧区にくらべ, Mn および Fe の平均濃度が高く, Cu の平均濃度が低かった。大尺牧区では, Zn 濃度が 9 月 15 日以降に上昇した。また梨の木平牧区では, Mg, K, Ca の平均濃度が他の牧区にくらべ低かった。放牧牛の推定飲水量を 17 ℓ/頭/日 (McDowell, 1985) として推定した, 飲水由来ミネラル摂取量 (表 3) は, いずれの成分においても要求量の 1 % 以下であった。

土壌中ミネラル含量は採取地点間の変動が大きく, 多くの分析項目で標準偏差が高い値となった (表 4)。pH はすべての牧区で 4.7-4.8 と低く, 酸性土壌であった。六角牧区では他の牧区にくらべ有効態 P が含量が高く, 初夏および初秋いずれにおいても基準値を超えていたが, 一方で交換性 Mg および Mn 含量は低く, 初夏および初秋いずれにおいても基準値を下回った。大尺牧区および梨の木平牧区では, 六角牧区にくらべ Mn 含量が高く, 初夏および初秋いずれにおいても基準値の範囲内であった。また, Mn 含量は草地にくらべ林地で高かった。交換性 Ca および Cu 含量は, いずれの牧区においても基準値にくらべ低く, それぞれ 22.2-93.8 ppm および 0.1 ppm であった。

### 考 察

水に含まれるミネラルは微量であり, 反芻動物は飲水によって要求量を満たすことはできない (McDowell, 1985)。本研究においても, 水に含まれるミネラル濃度はきわめて低かったことから (表 2 および 3), 放牧牛のミネラル摂取に飲水はほとんど寄与していないと考えられる。水源が同じ大尺牧区と六角牧区において Mn, Fe, Cu, Zn 等の濃度が大きく異なった原因は不明だが, 梨の木平牧区で Mg, K および Ca 濃度が他牧区にくらべ低かったのは, 水源が異なっていたことが一つの要因として考えられる。また, 9 月 15 日に認められた Na, Mg, K および Ca 濃度の低下は, 9 月 11 日 -9 月 14 日の降雨が原因と考えられる。

土壌のミネラル濃度は, 採取地点間の変動が大きかったが, 牧区間で違いが認められた。まず, 六角牧区では他の牧区にくらべ有効態 P が高かった (表 4)。六角牧区は他の牧区にくらべ P の施肥量が多く (表 1), その影響が表れたと考えられる。また, 土壌中 Mn 含量は草地より林地で高かった。北山放牧地に生育する植物の Mn 含量は, 草地の牧草にくらべ林地の木本類で高いことが明らかになっているが (Mizuno et al., 2012), 林地部の土壌中 Mn 含量が高かったことに由来した可能性がある。また, 草地部の土壌中 Mn および Mg 含量は, 六角牧区にくらべ大尺牧区および梨の木平牧区で含量が高く, かつ採取地点間の変動が大きかった。本研究で供試した大尺牧区および梨の木平牧区は六角牧区にくらべ地形の起伏が激しく斜面方位が多様であったことから, これらの地形的要因が土壌中の養分分布に偏りを生じさせ (倉島, 1980), ミネラル含量の変動をもたらしたと推察される。

表 2. 飲水場から採取された水のミネラル濃度.

		7/23	8/6	8/20	9/2	9/15	10/4	10/14	平均
Na (ppm)	六角	6.8	7.1	6.7	7.4	2.0	6.2	6.2	6.1
	大尺	6.7	6.2	6.5	6.5	2.9	4.5	4.1	5.3
	梨の木平	4.7	4.4	4.5	4.5	2.7	3.9	3.9	4.1
Mg (ppm)	六角	1.6	1.6	1.6	1.6	0.7	1.6	1.6	1.5
	大尺	1.5	1.4	1.5	1.6	0.8	1.1	1.0	1.3
	梨の木平	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	0.7	0.8	0.8
SO <sub>4</sub> (ppm)	六角	1.2	2.1	1.1	1.1	2.1	1.5	1.3	1.5
	大尺	1.4	1.2	1.3	1.4	0.7	1.0	0.8	1.1
	梨の木平	1.5	1.8	1.7	1.5	0.7	1.3	0.9	1.3
Cl (ppm)	六角	4.1	6.9	4.1	3.7	3.6	3.6	3.9	4.3
	大尺	3.8	4.1	3.6	3.7	1.6	2.5	2.4	3.1
	梨の木平	4.3	5.1	4.4	3.9	1.0	3.6	3.6	3.7
K (ppm)	六角	2.5	2.9	2.1	2.6	1.2	2.0	2.9	2.3
	大尺	2.5	2.2	2.2	2.2	0.9	1.5	1.4	1.9
	梨の木平	1.0	1.1	0.8	1.0	0.5	0.8	0.7	0.9
Ca (ppm)	六角	5.6	5.4	5.6	5.7	3.3	5.5	5.1	5.2
	大尺	7.2	7.4	6.7	6.3	2.0	3.4	2.9	5.1
	梨の木平	2.2	2.4	2.5	2.4	1.0	1.7	2.1	2.0
Mn (ppb)	六角	25.7	14.0	13.5	3.0	12.1	4.9	12.0	12.2
	大尺	1.5	0.3	2.1	0.5	2.8	2.1	1.5	1.6
	梨の木平	1.6	1.7	0.8	0.6	6.5	1.5	2.0	2.1
Fe (ppb)	六角	145.0	152.0	129.0	160.0	26.4	127.0	55.2	113.5
	大尺	18.1	20.0	34.1	11.9	3.2	8.0	8.4	14.8
	梨の木平	23.2	58.3	37.2	13.5	16.8	9.8	14.7	24.8
Co (ppb)	六角	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	大尺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	梨の木平	0.0	0.1	0.1	0.0	0.5	0.1	0.7	0.2
Cu (ppb)	六角	0.4	1.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.3
	大尺	6.1	5.3	7.7	3.9	0.9	2.8	2.3	4.1
	梨の木平	4.7	7.3	4.2	2.2	21.8	2.6	7.4	7.2
Zn (ppb)	六角	91.7	34.1	44.6	30.9	7.7	56.0	4.1	38.4
	大尺	39.2	29.1	44.8	37.5	173.0	90.1	111.0	75.0
	梨の木平	37.4	77.0	24.0	40.2	89.1	44.3	20.5	47.5

表 3. ウシの飲水由来ミネラル摂取量<sup>1)</sup>.

	Na (mg)	Mg (mg)	SO <sub>4</sub> (mg)	Cl (mg)	K (mg)	Ca (mg)	Mn (μg)	Fe (μg)	Co (μg)	Cu (mg)	Zn (μg)
六角	103.1	25.2	25.1	72.5	39.2	87.8	206.9	1929.7	0.5	4.5	653.4
大尺	90.5	21.6	19.0	52.6	31.6	87.1	26.5	251.7	0.2	70.4	1274.3
梨の木平	69.5	14.0	22.7	62.8	14.5	34.6	35.4	421.3	3.7	122.0	807.5
要求量 <sup>2)</sup>	3816	3180	5088	—	31800	22000	127200	318000	445.2	25440	127000
	-6360	-15900	-9540	—	-44520	—	-318000	-636000	-699.6	-63600	-254400

1) ウシの飲水量を 17 ℓ/頭/日 (McDowell, 1985) として算出.

2) 日本飼養標準肉用牛 (2008) 350 kg 育成肉用雌牛の要求量.

表 4. 各牧区の土壌中ミネラル含量.

	六角		大尺				梨の木平				基準 <sup>1)</sup>
	草地部		草地部		林地部		草地部		林地部		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
7 月 23 日											
pH	4.65	0.24	4.95	0.19	4.78	0.22	4.98	0.25	4.78	0.21	5.5 ～ 6.5
Na (mg/100g)	2.13	0.91	1.90	0.28	1.44	0.16	1.82	0.29	1.95	0.13	
交換性 Mg (mg/100g )	7.35	1.08	18.18	15.18	13.45	9.90	16.98	6.19	16.55	9.29	20 ～ 30
有効態 P (mg/100g)	64.03	32.43	25.28	24.72	4.68	3.00	3.85	1.86	1.98	0.51	20 ～ 50
SO <sub>4</sub> (mg/100g)	2.86	0.23	2.63	0.39	3.05	0.81	3.17	0.28	5.44	5.71	
Cl (mg/100g)	1.28	0.57	1.06	0.30	1.68	0.24	2.32	1.33	3.01	2.16	
交換性 K (mg/100g )	12.30	2.38	14.93	8.50	21.63	9.03	26.10	7.85	15.13	6.46	26 ～ 32
交換性 Ca (mg/100g )	23.80	3.15	81.30	107.57	50.95	22.81	25.43	13.07	88.58	78.55	569 ～ 797
Mn (ppm)	10.96	7.00	66.10	71.76	116.79	57.77	59.17	25.40	163.26	121.43	50 ～ 500
Fe (mg/100g)	3.22	2.22	2.33	2.05	0.68	0.21	0.79	0.18	1.30	1.40	
Co (ppm)	0.14	0.06	0.19	0.03	0.22	0.06	0.15	0.05	0.06	0.07	
Cu (ppm)	0.06	0.03	0.09	0.09	0.11	0.07	0.10	0.04	0.05	0.05	0.5 ～ 8
Zn (ppm)	3.00	1.16	14.15	17.28	8.86	2.33	9.37	1.76	30.52	18.08	2 ～ 40
Se (ppb)	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.04	0.01	0.02	0.00	
10 月 26 日											
pH	4.78	0.31	4.73	0.24	4.83	0.34	4.80	0.22	4.65	0.21	5.5 ～ 6.5
Na (mg/100g)	1.04	0.28	1.14	0.22	1.51	0.55	1.46	0.29	1.10	0.57	
交換性 Mg (mg/100g )	8.90	6.99	8.73	3.35	14.20	13.48	23.00	19.92	22.13	20.39	20 ～ 30
有効態 P (mg/100g)	58.20	32.46	23.25	20.11	9.38	11.83	3.05	1.11	2.63	0.57	20 ～ 50
SO <sub>4</sub> (mg/100g)	2.00	0.41	2.42	0.82	2.32	0.53	2.54	0.81	3.60	1.09	
Cl (mg/100g)	1.13	0.38	0.95	0.28	2.59	0.92	3.17	0.95	2.22	0.34	
交換性 K (mg/100g )	8.85	0.76	11.70	5.21	15.28	7.73	23.73	10.48	19.28	8.60	26 ～ 32
交換性 Ca (mg/100g )	48.73	69.27	22.15	16.18	45.85	72.46	42.10	11.90	93.83	101.84	569 ～ 797
Mn (ppm)	13.67	24.60	50.86	43.53	98.26	94.85	99.90	72.99	241.98	199.82	50 ～ 500
Fe (mg/100g)	8.58	5.82	4.51	2.00	2.59	1.85	2.83	1.42	1.34	0.76	
Co (ppm)	0.13	0.07	0.32	0.07	0.38	0.07	0.28	0.10	0.42	0.16	
Cu (ppm)	0.05	0.02	0.11	0.08	0.08	0.07	0.10	0.03	0.07	0.02	0.5 ～ 8
Zn (ppm)	3.11	0.87	4.88	0.32	7.61	3.82	9.65	3.72	16.53	18.28	2 ～ 40
Se (ppb)	0.05	0.02	0.05	0.01	0.06	0.02	0.07	0.02	0.04	0.01	

1) 北海道農政部 (2010) より引用.

Ca および Cu 含量は全牧区で基準値を下回った。Sugawara ら (1983) は、本研究と同じ北山地区の桂清水牧区において Cu 含量が不足していると報告したが、本研究も同様の結果が得られた。交換性 Ca は pH と密接な関係がある。土壌分析の結果、すべての牧区の pH が非常に低かったことから、石灰の施用量が不足していた可能性も考えられる。

内陸部に生息する動物は土舐めによって不足するミネラルを摂取していることはよく知られている。例えば、ジャコウウシ (Klein and Thing, 1989) やアフリカゾウ (Weir, 1972) は土舐めによって Na を摂取することが報告がされている。また、北原ら (2005) はエゾシカが土舐めによって Ca を得ていることを示唆している。本研究において、

放牧牛が土舐めを行っていたか否かは定かではないが、土壌中ミネラル含量のばらつきが大きい放牧地では、ミネラル含量の高い場所で土舐めを行うことで、特定のミネラル不足を補うことができると考えられる。また牧草および野草中のミネラルは、風塵や雨などで付着したごく一部を除けば、ほとんどすべてその生育した土壌に由来する (檀原ら, 1988)。すなわち、植物が生育する地形の違いや、施肥などによって土壌性状に差が生じ、植物に移行するミネラルの割合が異なると考えられる。したがって、多様な地形および植生下では、放牧家畜はミネラル含量の異なる多様な植物を採食することで、ミネラルの欠乏リスクを抑制できる可能性がある。

## 謝 辞

放牧地の設置と管理にご助力とご助言を賜った、東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター渋谷暁一氏および千葉 孝氏に深く感謝申し上げる。

## 要 約

放牧地のミネラル環境は家畜の健全性と健康性に大きな影響を及ぼす。そこで本研究では、六角牧区（人工草地）、大尺牧区（人工草地＋林地）および梨の木平牧区（改良野草地＋林地）の土壌および飲水のミネラル濃度について検討した。飲水に含まれるミネラル濃度は、いずれの成分においてもきわめて低く、飲水によるウシの推定ミネラル摂取量は、要求量の1%未満だった。土壌では交換性CaおよびCu濃度がすべての地点で基準値よりも低かった。六角牧区にくらべ大尺牧区および梨の木平牧区では、土壌中MnおよびMg含量の地点間変動が大きく、平均含量が高かった。また、Mn含量は草地にくらべ林地で高かった。これらの結果は地形や施肥等の違いによると考えられる。このような土壌中ミネラルの地点間差異は、植物中ミネラル含量と関係があると考えられるため、多様な地形および植生下では、放牧家畜はミネラル含量の異なる多様な植物を採食することで、ミネラルの欠乏リスクを抑制できる可能性がある。

## 引用文献

- 檀原 宏・建石繁明・馬場多久男（1988）信州高原に自生する牧野草中の微量元素濃度に関する研究. I. 浅間、八ヶ岳高原および伊那溪谷地帯の野草中の濃度分布. 信州大学環境科学論集, 10:86-103.
- Grings E. E., Haferkamp M. R., Heitschmidt R. K. and Karl M. G. (1996) Mineral dynamics in forages of the northern great plains. *Journal of Range Management*, 49:234-240.
- 北海道農政部（2010）北海道施肥ガイド2010, pp. 1-235.
- 北原理作・小松輝幸・増子孝義（2005）エゾシカの餌選択とミネラル要求性. プロ・ナトゥーラ・ファンド第14期助成成果報告書, pp. 85-94.
- Klein D. R. and Thing H. (1989) Chemical elements in mineral licks and associated muskoxen feces in Jameson Land, north-east Greenland. *Canadian Journal of Zoology*, 67:1092-1095.
- 倉島健次（1980）山地傾斜地の放牧草地における土壌塩基の分布と牧草の塩基組成 I. 放牧草地における土壌塩基の分布. 日本草地学会誌, 25: 346-353.
- Littledike E. T., Goff J. (1987) Interactions of calcium, phosphorus, magnesium and vitamin D that influence their status in domestic meat animals. *Journal of Animal Science*, 65: 1727-1743.
- McDowell L. R. (1985) Nutrition of grazing ruminants in warm climates. Academic press, New York, pp. 37-57.
- 水野速人, 佐藤衆介, 吉原 佑, 井上達志, 木村和彦, 田中繁史, 小倉振一郎（2012）放牧地の植物種多様性の違いがウシのミネラル利用性に及ぼす影響. 日本草地学会誌, 58（別）: 6.
- Mizuno H., Yoshihara Y., Inoue T., Kimura K., Tanaka S., Sato S. and Ogura S. (2012) The effect of species richness of vegetation on mineral condition of grazing cattle in a Japanese alpine pasture. *Proceeding of the 4th Japan-China-Korea Grassland Conference*: 242-243.
- 水野速人, 佐藤衆介, 吉原 佑, 井上達志, 木村和彦, 田中繁史, 小倉振一郎（2011）放牧牛のミネラル摂取と血液性状に対する植物多様性の機能. 日本草地学会誌, 57（別）: 45.
- 農業・食品産業技術総合研究機構（2009）日本標準飼料成分表, 中央畜産会. pp. 1-287.
- 農業・食品産業技術総合研究機構（2008）日本飼養標準一肉用牛, 中央畜産会. pp. 1-234.
- 農業・食品産業技術総合研究機構（2006）日本飼養標準一乳牛, 中央畜産会. pp. 1-205.
- Ohlson M. and Staaland H. (2001) Mineral diversity in wild plants: benefits and bane for moose. *Oikos* 94:442-454.
- 扇元敬司・桑原正貴・寺田文典・中井 裕・清家英貴・廣川 治（2006）新編畜産ハンドブック. 講談社, 東京, pp. 204-205.
- 佐々木康之（1998）反芻動物の栄養生理学. 農山漁村文化協会, 東京, p232-241.
- Sugawara K., Odashima M., Isawa T. and Hayashi K. (1983) Studies on the trace elements in soil-plant-animal system. 1. Trace mineral status in Kawatabi farm. *Tohoku Journal of Agricultural Research*, 34: 11-18.
- Weir J. S. (1972) Spatial-distribution of elephants in an African national park in relation to environmental sodium. *Oikos* 23:1-13.
- 山根一郎, 伊藤巖, 岩波悠紀, 小林裕志（1989）新草地農学. 朝倉書店, 東京, pp. 41-49.